

PCT/JP2004/010660

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

19.08.2004

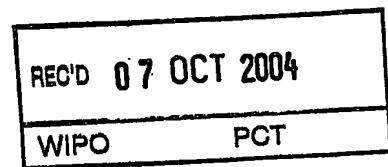
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 7月28日

出願番号
Application Number: 特願2003-281212
[ST. 10/C]: [JP2003-281212]

出願人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社



PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 9月24日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川

洋

BEST AVAILABLE COPY

出証番号 出証特2004-3085716

【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTTH155621
【提出日】 平成15年 7月28日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】
 H01S 3/06
 H01S 3/09
 H01S 5/00
 G02F 1/383

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 山田 誠

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 青笹 真一

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 阪本 匡

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 森 淳

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 鹿野 弘二

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 清水 誠

【特許出願人】
【識別番号】 000004226
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】
【識別番号】 100077481
【弁理士】
【氏名又は名称】 谷 義一

【選任した代理人】
【識別番号】 100088915
【弁理士】
【氏名又は名称】 阿部 和夫

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 013424
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9701393

【書類名】特許請求の範囲

【請求項1】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質としたファイバレーザにおいて、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として1. 2 μ m帯の光、あるいは基底準位³ H₆ から³ H₅ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、2. 3 μ m帯で動作することを特徴とするファイバレーザ。

【請求項2】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質としたファイバレーザにおいて、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として1. 2 μ m帯の光、あるいは基底準位³ H₆ から³ H₅ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、³ F₄ から³ H₅ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とするファイバレーザ。

【請求項3】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質としたファイバレーザにおいて、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として1. 2 μ m帯の光、あるいは基底準位³ H₆ から³ H₅ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、2. 3 μ m帯と1. 8 μ m帯の両波長域で動作することを特徴とするファイバレーザ。

【請求項4】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質としたファイバレーザにおいて、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として1. 2 μ m帯の光、あるいは基底準位³ H₆ から³ H₅ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、³ F₄ から³ H₅ 準位へのレーザ遷移と³ H₄ から³ H₅ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とするファイバレーザ。

【請求項5】

少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載のファイバレーザ。

【請求項6】

前記非石英系ファイバが、フッ化物ファイバ、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイトガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項5に記載のファイバレーザ。

【請求項7】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、2. 3 μ m帯で動作するファイバレーザにおいて、

励起光源として0. 67 μ m帯あるいは0. 8 μ m帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とするファイバレーザ。

【請求項8】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、³ F₄ から³ H₅ 準位へのレーザ遷移を用いるファイバレーザにおいて、

励起光源として0. 67 μ m帯あるいは0. 8 μ m帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に

起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とするファイバレーザ。

【請求項 9】

少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイトガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項7または8に記載のファイバレーザ。

【請求項 10】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした自然放出光源において、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として1. 2 μ m帯の光、あるいは基底準位³ H₆ から³ H₅ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、2. 3 μ m帯で動作することを特徴とする自然放出光源。

【請求項 11】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした自然放出光源において、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として1. 2 μ m帯の光、あるいは基底準位³ H₆ から³ H₅ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、³ F₄ から³ H₅ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする自然放出光源。

【請求項 12】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした自然放出光源において、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として1. 2 μ m帯の光、あるいは基底準位³ H₆ から³ H₅ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、2. 3 μ m帯と1. 8 μ m帯の両波長域で動作することを特徴とする自然放出光源。

【請求項 13】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした自然放出光源において、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として1. 2 μ m帯の光、あるいは基底準位³ H₆ から³ H₅ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、³ F₄ から³ H₅ 準位へのレーザ遷移と³ H₄ から³ H₅ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする自然放出光源。

【請求項 14】

少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする請求項10ないし13のいずれかに記載の自然放出光源。

【請求項 15】

前記非石英系ファイバが、フッ化物ファイバ、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイトガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項14に記載の自然放出光源。

【請求項 16】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、2. 3 μ m帯で動作する自然放出光源において、

励起光源として0. 67 μ m帯あるいは0. 8 μ m帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする自然放出光源。

【請求項17】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、 $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いる自然放出光源において、

励起光源として $0.67\text{ }\mu\text{m}$ 帯あるいは $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする自然放出光源。

【請求項18】

少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイトガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項16または17に記載の自然放出光源。

【請求項19】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした光ファイバ増幅器において、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として $1.2\text{ }\mu\text{m}$ 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、 $2.3\text{ }\mu\text{m}$ 帯で動作することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項20】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした光ファイバ増幅器において、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として $1.2\text{ }\mu\text{m}$ 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、 $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項21】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした光ファイバ増幅器において、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として $1.2\text{ }\mu\text{m}$ 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、 $2.3\text{ }\mu\text{m}$ 帯と $1.8\text{ }\mu\text{m}$ 帯の両波長域で動作することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項22】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした光ファイバ増幅器において、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として $1.2\text{ }\mu\text{m}$ 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、 $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移と $^3\text{H}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項23】

少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする請求項19ないし22のいずれかに記載の光ファイバ増幅器。

【請求項24】

前記非石英系ファイバが、フッ化物ファイバ、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイトガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項23に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項25】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバ

を利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、2. 3 μ m帯で動作する光ファイバ增幅器において、

励起光源として0. 67 μ m帯あるいは0. 8 μ m帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする光ファイバ增幅器。

【請求項26】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、 3F_4 から 3H_5 準位へのレーザ遷移を用いる光ファイバ增幅器において、

励起光源として0. 67 μ m帯あるいは0. 8 μ m帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする光ファイバ增幅器。

【請求項27】

少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイトガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項25または26に記載の光ファイバ增幅器。

【書類名】明細書

【発明の名称】ファイバレーザ、自然放出光源及び光ファイバ增幅器

【技術分野】

【0001】

本発明は、ファイバレーザ、自然放出光源、及び光ファイバ增幅器に関し、特にコア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした $2\text{ }\mu\text{m}$ 帯近傍で動作するファイバレーザ、自然放出光源、及び光ファイバ增幅器に関する。

【背景技術】

【0002】

図1はツリウムイオンのエネルギー準位図（非特許文献1参照）であり、図1中の各エネルギー準位の右側にエネルギー値を、図1中の各エネルギー準位の左側に各準位の名称を、矢印に付与された数字は各矢印の遷移が生じたときに吸収（図1中、上向きの矢印（図示しない）に相当する）、または放出（図1中、下向きの矢印に相当する）される光の波長をそれぞれ示す。ただし、エネルギーの単位は、波数単位を基本とした $1/\text{cm}$ （分光学で言うと、K（カイザー）に相当する）で表し、エネルギー準位の名称は、Russell-Saunders（ラッセル・ソンダーズ）の表記法にもとづくものであり、アルファベットの大文字は合成軌道角運動量を、その上付きの添数字は電子の全スピン角運動量にもとづくスペクトル項の多重度を、その下付きの添数字は全角運動量をそれぞれ表すものである。なお、 $^3\text{H}_6$ 準位は、結晶電場によって生じるシュタルク効果により、縮退していた準位が分裂して広がった幅のある準位となっている。

【0003】

ツリウム（Tm）をコアに添加したファイバにおいては、ツリウムイオンの図1中の $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ 遷移（ツリウムイオンのエネルギーが $^3\text{H}_4$ 準位から $^3\text{H}_6$ 準位に移ることを表すものとし、以下、この表記法に従う。）を用いた $1.9\text{ }\mu\text{m}$ 帯、 $^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_5$ 遷移を用いた $2.3\text{ }\mu\text{m}$ 帯、 $^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ 遷移を用いた $0.82\text{ }\mu\text{m}$ 帯、 $^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_4$ 遷移を用いた $1.48\text{ }\mu\text{m}$ 帯、

を用いたファイバレーザ、自然放出光源、或いは光ファイバ增幅器への応用が検討されている。なお、上記遷移間でのファイバレーザ、自然放出光源、或いは光ファイバ增幅器を高効率で実現するために、Tm（ツリウム）を添加するファイバとして、フッ化物ファイバが用いられている。このTm添加フッ化物ファイバの中で、 $2.3\text{ }\mu\text{m}$ 帯は半導体レーザで発振が難しく、計測用への応用をする上で重要な波長域となってきている。

【0004】

これまで、

(1) Tm添加フッ化物ファイバに、 $0.67\text{ }\mu\text{m}$ 帯励起（ $^3\text{H}_6$ 準位にあるツリウムイオンを $^3\text{F}_3$ 準位に励起）（非特許文献1参照）を適用して、 $0.82\text{ }\mu\text{m}$ 帯、 $1.48\text{ }\mu\text{m}$ 帯、 $1.9\text{ }\mu\text{m}$ 帯及び $2.35\text{ }\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振、

(2) Tm添加フッ化物ファイバに、 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 帯励起（ $^3\text{H}_6$ 準位にあるツリウムイオンを $^3\text{F}_4$ 準位に励起）（非特許文献2、あるいは特許文献1参照）、を適用して、 $2.35\text{ }\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振、

(3) Tm添加フッ化物ファイバに、 $0.8(0.79)\text{ }\mu\text{m}$ 帯励起（特許文献1参照）に適用して、 $0.82\text{ }\mu\text{m}$ 帯、 $1.48\text{ }\mu\text{m}$ 帯、 $1.9\text{ }\mu\text{m}$ 帯及び $2.35\text{ }\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振、

(4) Tm添加フッ化物ファイバに、 $1.55\sim1.75\text{ }\mu\text{m}$ 帯励起、 $^3\text{H}_6$ 準位にあるツリウムイオンを $^3\text{H}_4$ 準位に励起（特許文献2参照）を適用して、 $1.9\text{ }\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振及び光ファイバ增幅器、

(5) Tm添加フッ化物ファイバに、 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 帯励起（特許文献2参照）を適用して、 $1.48\text{ }\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振及び光ファイバ增幅器、

が報告されており、上記報告の(1)、(2)及び(3)により、 $2.3\text{ }\mu\text{m}$ 帯ファイバ

レーザがすでに開発されている。

【0005】

【特許文献1】特開平3-293788号公報

【特許文献2】特開平6-283798号公報

【非特許文献1】J.Y. Allain et al., "Tunable CW lasing around 0.82, 1.48, 1.88 and 2.35 μ m in Thulium-doped fluorozirconate fiber" Electron. Lett., Vol. 25, No. 24, pp. 1660-1662, 1989

【非特許文献2】L. Esterowitz et al., "Pulsed laser emission at 2.3 μ m in a Thulium-doped fluorozirconate fiber", Electron. Lett., Vol. 24, No. 17, p. 1104, 1988.

【非特許文献3】A. Taniguchi, et al., "1212-nm pumping of 2 μ m Tm-Ho-codoped silica fiber laser", Appl. Phys. Lett., Vol. 81, pp. 3723-3725, 2002 発行

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、0.67 μ m或いは0.8 μ m帯励起は、活性媒体としてTm添加フッ化物ファイバを用いたものみが報告されて、他のガラスホスト（母材）を用いたTm添加ファイバに関しての報告は無かった。すなわち、これまで、如何なるガラスホストのファイバが2.3 μ m帯動作のレーザ応用に適するのかは明らかになっていなかった。

【0007】

さらに、Tmを添加してフッ化物ファイバに波長1.05 μ m以下の強い光を入射すると、フッ化物ファイバ自体の損失が増加するというフォトダークニングが発生する現象がある。図2は、Tm添加フッ化物ファイバ（添加濃度2000 wt. ppm、ファイバ長20m、比屈折率差3.7%）に1.047 μ m帯Nd-YLFレーザ光、500mWを入射する前（実線の曲線）と、56時間後（破線の曲線）の損失スペクトルを示す。この損失増はレーザ光の入射によりフッ化物ファイバのガラス中に欠陥が生じるためであり、この現象はその入射する波長が短波長になればなるほど顕著になる。このため、0.67 μ m或いは0.8 μ m励起を用いたTm添加フッ化物ファイバによる2.3 μ m帯動作のレーザ応用を考えた場合には、その発振効率が時間と共に減少し、最後には、レーザ発振ができなくなると言う信頼性上の課題があった。

【0008】

また、1.2 μ m帯励起を用いたTm³⁺とHoを共添加したフッ化物ファイバによる1.9 μ m帯のレーザ発振が報告されている（非特許文献3参照）。しかし、これは、Tm³⁺の³H₄から³H₅準位へのレーザ遷移を利用するものではなく、また2.3 μ m帯の発光に関するものでもない。

【0009】

本発明は、かかる事情に鑑みなされたものであり、その目的は、

1) 2.3 μ m帯で動作するために必要なTmを添加するガラスホストを明確にして、同帯域で動作するファイバレーザ、自然放出（ASE）光源、及びファイバ増幅器を確実に実現する

と共に、

2) フォトダークニングによるファイバ特性の劣化のない高信頼性を実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するために、本発明の特徴は以下の2点にある。

1) 2.3 μ m帯で動作するために必要なTmを添加するガラスホストとして、マルチフオノン緩和に起因する非発光緩和率が、石英ガラスよりも低いガラスを用いる。

2) フォトダークニングによるファイバ特性の劣化をなくすためにTm添加ファイバに入射する励起の波長として1.2 μ m帯を用いる。

【発明の効果】

【0011】

本発明は、以下の効果を奏する。

- 1) Tmを添加するガラスホストとして、マルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率が、石英ガラスより低いガラスを用いるので、2. 3 μm 帯域で動作するファイバレーザ、ASE光源及びファイバ増幅器を確実に実現することができる。
- 2) Tm添加ファイバに入射する励起の波長として1. 2 μm 帯(1. 2 μm 帯励起)を用いるので、フォトダークニングによるファイバ特性の劣化のない高信頼性を実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

以下に、本発明を実施するための最良の形態を、上記の本発明の特徴1)、2)に基づいて詳細に説明する。

【0013】

—本発明の特徴1)の説明—

Tmを添加した光ファイバの2. 3 μm 帯の蛍光は、図1に示すように $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移による。また、この遷移によるレーザ応用を実現する場合には、 $^3\text{F}_4$ 準位に滞在するTmイオンの滞在時間を長く(つまり、蛍光寿命を長く)して、 $^3\text{F}_4$ 準位と $^3\text{H}_5$ 準位間で反転分布を形成する必要がある。このためには、 $^3\text{F}_4$ 準位から $^3\text{H}_5$ 準位に非発光で緩和するTmイオンを減らすことが重要であると考えられる。図3に、各種ガラスの非発光緩和率の特性を示す。なお、この非発光は $^3\text{F}_4$ 準位から $^3\text{H}_5$ 準位へのマルチフォノン緩和に起因する。 $^3\text{F}_4$ 準位と $^3\text{H}_5$ 準位間のエネルギー差は~4300(1/cm)であり、石英ガラス(ケイ酸塩ガラス)に比べ、テルライトガラス、ゲルマン酸塩ガラス、フッ化物ガラス、カルコゲナイトガラスが小さな非発光緩和率を有することが図3から分かる。また、図3に記載していないが、ビスマス系ガラス及びフツリン酸ガラスも石英に比べて非発光緩和率は小さい。この知見に従い、各種のガラスホストの異なるTm添加光ファイバを作製して、0. 67 μm 帯励起、0. 8 μm 帯励起の2. 3 μm 帯自然放出光スペクトルを実測し、その結果を図4、図5、図6に示す。

【0014】

なお、ここで使用した光ファイバの諸元は、

- ・ Tm添加フッ化物ファイバ：Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差1. 6%、カットオフ波長1. 5 μm 、ファイバ長10m
- ・ Tm添加テルライトファイバ：Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差2. 5%、カットオフ波長1. 4 μm 、ファイバ長10m
- ・ Tm添加カルコゲナイトガラスファイバ：Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差1. 0%、カットオフ波長1. 5 μm 、ファイバ長5m
- ・ Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバ：Tm添加濃度1500wt. ppm、比屈折率差1. 1%、カットオフ波長1. 3 μm 、ファイバ長10m
- ・ Tm添加石英ファイバ：Tm添加濃度1500wt. ppm、比屈折率差1. 8%、カットオフ波長1. 2 μm 、ファイバ長10m
- ・ Tm添加ビスマス系ガラスファイバ：Tm添加濃度1000wt. ppm、比屈折率差2. 5%、カットオフ波長1. 43 μm 、ファイバ長3m
- ・ Tm添加フツリン酸ガラスファイバ：Tm添加濃度2500wt. ppm、比屈折率差1. 1%、カットオフ波長1. 36 μm 、ファイバ長3. 5m
- ・ Tm添加リン酸ガラスファイバ：Tm添加濃度1800wt. ppm、比屈折率差1. 55%、カットオフ波長1. 53 μm 、ファイバ長2. 9m

である。また、励起光量は0. 67 μm 帯が200mW、0. 8 μm 帯が150mWである。

【0015】

図4、図5、図6に示すように、石英ガラスに比べ、小さな非発光緩和率を有する、テ

ルライトガラスファイバもゲルマン酸塩ガラスファイバ、フッ化物ファイバ、カルコゲナイトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ及びフッリン酸ガラスファイバにおいて、2. 3 μm 帯の自然放出光が観測された。一方、石英系ファイバ及び、石英ガラスよりも大きな非発光緩和率を有するリン酸ガラスファイバでは、2. 3 μm 帯の自然放出光が観測されなかった。このことにより、石英ガラスに比べて、マルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率が小さなガラスをホストガラスとした光ファイバにより、2. 3 μm 帯の蛍光が得られることが明らかとなった。すなわち、この蛍光により、Tmを添加するガラスホストとして、マルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率が、石英ガラスよりも低いガラスを用いることで、2. 3 μm 波長域でのレーザ応用が可能であることが明らかであることが分かる。

【0016】

一本発明の特徴2)の説明

始めに、Tm添加ファイバへの1. 2 μm 帯励起による2. 3 μm 帯のレーザ応用（ファイバレーザ、自然放出光源、及び光増幅器）に関する説明する。本励起による2. 3 μm 帯レーザ応用は、1. 2 μm 帯の励起により、 $^3\text{H}_6$ 基底準位にあるツリウムイオンをまず $^3\text{H}_5$ 準位に励起し、この準位のから $^3\text{H}_4$ 準位にいったん無輻射過程により緩和し、さらに $^3\text{H}_4$ 準位から $^3\text{F}_2$ 準位に励起し、最後に $^3\text{F}_2$ 準位にあるツリウムイオンを無輻射過程により $^3\text{F}_4$ 準位に緩和することにより、 $^3\text{F}_4$ 準位と $^3\text{H}_5$ 準位間に反転分布を形成することによって実現されると考える。（なお、Tm添加ファイバに入射する励起の波長として1. 2 μm 帯（1. 2 μm 帯励起）を用いて2. 3 μm 帯のレーザ応用（ファイバレーザ、自然放出光源及び光増幅器）を実現することに関して従来は全く報告されていなかった。）

【0017】

図7に1. 2 μm 帯励起Tm³⁺添加フッ化物ファイバ及びTm³⁺添加テルライトファイバの自然放出光スペクトルを示す。 $^3\text{F}_4$ 準位→ $^3\text{H}_5$ 準位に起因する2. 3 μm 帯（蛍光ピークは2. 05 μm であるが、これは1. 2 μm 帯の励起光量によってシフトする）の自然放出光スペクトルが生ずることが分かり、1. 2 μm 帯の励起光量によってTm添加フッ化物ファイバ、Tm添加テルライトガラスファイバにより2. 3 μm 帯で蛍光が生ずるというのは本発明者らによる新たな知見であり、従来知られていなかったものである。なお、Tm添加石英系ファイバでは2. 3 μm 帯の蛍光は観測されない。

【0018】

さらに、図8に、1. 2 μm 帯励起Tm³⁺添加ゲルマン酸塩ガラスファイバ、Tm³⁺添加カルコゲナイトガラスファイバ、Tm³⁺添加ビスマス系ガラスファイバ、及びTm³⁺添加フッリン酸ガラスファイバの自然放出光特性も合わせて示す。この特性も、1. 2 μm 帯励起Tm³⁺添加フッ化物ファイバ及びTm³⁺添加テルライトファイバと同様に、本発明者らによる新たな知見であると共に、本発明の特徴1）で明らかにされた石英ガラスに比べ、小さな非発光緩和率を有するガラスをホストガラスとした光ファイバにより、2. 3 μm 帯の蛍光が得られることが1. 2 μm 帯励起でも明らかとなった。すなわち、このことにより、1. 2 μm 帯励起により、2. 3 μm 帯でのレーザ応用が可能であることが明らかであることが分かる。

【0019】

なお、1. 2 μm 帯励起を用いたTm³⁺添加フッ化物ファイバに関しては、それ自体の報告はないが、Tm³⁺とホロニウム（Ho）の両者を共添加したTm-Ho共添加ファイバによる1. 9 μm 帯のレーザ発振が報告（非特許文献3参照）されている。しかし、この報告は、Tm³⁺の $^3\text{H}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を利用するものでは無く、また2. 3 μm 帯に関するものでは無い。

【0020】

次に、フォトダークニングによるファイバ特性の劣化のない高信頼性化に関する説明する。図9に、Tm添加フッ化物ファイバ（添加濃度2000w.t. ppm、ファイバ長20m、比屈折率差3. 7%）に1. 21 μm 帯半導体LD光、～500mWを入射する前

(実線の曲線)と、100時間後(鎖線の曲線)の損失スペクトルを示す。この結果からわかるように、1. 2 μm 帯励起を採用することにより、フッ化物ファイバ自体の損失が増加するというフォトダークニングを抑えることが実現でき、高信頼を有する実用的な2. 3 μm 帯レーザ応用が可能であることが分かる(若干励起光を入射する前と1. 2 1 μm 帯励起光入射後のスペクトルが異なっているが、これは測定精度に起因する誤差と考えられる)。

【0021】

さらに、下記の表1に、Tm³⁺添加テルライトファイバ、Tm³⁺添加ゲルマン酸塩ガラスファイバ、Tm³⁺添加カルコゲナイトガラスファイバ、Tm³⁺添加ビスマス系ガラスファイバ及びTm³⁺添加フッリン酸ガラスファイバ(本発明の特徴1に示す諸元の各ファイバを使用し、測定した)の1. 047 μm 帯励起と1. 2 1 μm 帯励起時の波長600nmにおける損失変化を示す。本結果から、フッ化物ファイバの他のガラスにファイバに対しても1. 2 μm 帯励起が信頼性向上に有効であることが分かる。

【0022】

【表1】

| ファイバ | 1. 047 μm 帯励起(500mW, 56時間)後の単位当たりの損失増(波長600nm) (dB/m) | 1. 2 μm 帯励起(500mW, 100時間)後の単位当たりの損失増(波長600nm) (dB/m) |
|----------------|--|---|
| テルライトガラスファイバ | 0.81 | <0.01 |
| ゲルマン酸塩ガラスファイバ | 0.92 | <0.01 |
| カルコゲナイトガラスファイバ | 0.77 | <0.01 |
| ビスマス系ガラスファイバ | 0.71 | <0.01 |
| フッリン酸ガラスファイバ | 0.85 | <0.01 |

【実施例】

【0023】

以下に、図面を参照して本発明をより具体的に詳述するが、以下に開示する本発明の実施例は本発明の単なる例示に過ぎず、本発明の範囲を何等限定するものではない。

【0024】

(第1の実施例)

本発明の第1の実施例では2. 3 μm 帯及び1. 8 μm 帯のファイバレーザへの本発明の応用を説明する。図10に本発明の第1の実施例の構成を示す。ここで、1は利得媒質であるTm³⁺添加ファイバ、2は1. 2 μm 帯励起光源(半導体レーザ、発振は長1. 2 1 μm 、最大出力200mW)、3はダイクロイックミラー(1. 2 μm 帯の光を反射、1. 6~2. 4 μm 帯光を透過)、4は反射ミラー(1. 6~2. 4 μm 帯で反射率50%、1. 2 μm 帯光は100%透過)、5は2. 3 μm 帯及び1. 8 μm 帯バンドパスフィルタ(同フィルタの透過特性を図11に示す)、6は集光レンズ、7は全反射ミラー(1. 6~2. 4 μm 帯光で反射率95%以上)である。

【0025】

使用したTm³⁺添加ファイバ1の諸元は、

- ・ Tm添加フッ化物ファイバ: Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差1. 6%、カットオフ波長1. 5 μm 、ファイバ長5m
- ・ Tm添加テルライトファイバ: Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差2. 5%、カットオフ波長1. 4 μm 、ファイバ長5m
- ・ Tm添加カルコゲナイトガラスファイバ: Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差1. 0%、カットオフ波長1. 5 μm 、ファイバ長6m
- ・ Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバ: Tm添加濃度1500wt. ppm、比屈折

率差1. 1%、カットオフ波長1. 3 μm 、ファイバ長5 m

・ Tm添加ビスマス系ガラスファイバ：Tm添加濃度1000 wt. ppm、比屈折率差2. 5%、カットオフ波長1. 43 μm 、ファイバ長4. 5 m

・ Tm添加フツリン酸ガラスファイバ：Tm添加濃度2500 wt. ppm、比屈折率差1. 1%、カットオフ波長1. 36 μm 、ファイバ長5. 5 m

である。

【0026】

各々の Tm^{3+} 添加ファイバ1に入射する1. 2 μm 帯励起光量が50 mWであり、バンドパスフィルタ5として2. 3 μm 帯（透過中心波長2. 205 μm ）バンドパスフィルタを使用した場合において、2. 205 μm でTm添加フッ化物ファイバを用いた場合、1. 5 mW、Tm添加テルライトファイバを用いた場合、2. 2 mW、Tm添加カルコゲナイトガラスファイバを用いた場合、0. 6 mW、Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバを用いた場合、0. 4 mW、Tm添加ビスマス系ガラスファイバを用いた場合、1. 3 mW、Tm添加フツリン酸ガラスファイバを用いた場合のそれぞれにおいて、1. 1 mWのレンズ発振が実現した。

【0027】

さらに、各々のTm添加ファイバに入射する1. 2 μm 帯励起光量が50 mW、バンドパスフィルタ5として1. 8 μm 帯（透過中心波長1. 801 μm ）バンドパスフィルタを使用した場合において、1. 801 μm でTm添加フッ化物ファイバを用いた場合、2. 4 mW、Tm添加テルライトファイバを用いた場合、3. 2 mW、Tm添加カルコゲナイトガラスファイバを用いた場合、0. 8 mW、Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバを用いた場合、0. 7 mW、Tm添加ビスマス系ガラスファイバを用いた場合、1. 9 mW、Tm添加フツリン酸ガラスファイバを用いた場合のそれぞれにおいて、1. 4 mWのレーザ発振が実現した。

【0028】

さらに、バンドパスフィルタ5をチューナブルフィルタに変更することにより、2. 3 μm 帯と1. 8 μm 帯の両波長域でレーザ発振が可能であり、Tm添加フッ化物ファイバとチューナブルフィルタを用いて1. 75~2. 21 μm 帯の波長可変が実現できた。

【0029】

また、図12に、本実施例において Tm^{3+} 添加フッ化物ファイバを用いたファイバレーザの出力光量の時間安定性を示す（2. 205 μm レーザ初期出力1. 5 mW）。また、同図には0. 67 μm 帯励起時の特性を合わせて示す（上記と同じレーザ初期出力）。この結果より、1. 2 μm 帯励起を用いることにより、高信頼のファイバレーザ応用が可能であることが確認された。

【0030】

また、Tm添加テルライトファイバ、Tm添加カルコゲナイトガラスファイバ、Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバ、Tm添加ビスマス系ガラスファイバ、Tm添加フツリン酸ガラスファイバを用いた場合においても、1000時間動作後のレーザ出力光変動も10%以内であり、これらのガラスにおいても1. 2 μm 帯励起を用いることにより、高信頼化が実現できることが明らかとなった。

【0031】

（第2の実施例）

本発明の第2の実施例では、2. 3 μm 帯の光ファイバ増幅器への本発明の応用を説明する。図13に本発明の第2の実施例の構成を示す。ここで、1は利得媒質である Tm^{3+} 添加ファイバ、2は1. 2 μm 帯励起光源（半導体レーザ、発振は長1. 21 μm 、最大出力200 mW）、3はダイクロイックミラー（1. 2 μm 帯の光を反射、1. 6~2. 4 μm 帯光を透過）、6は集光レンズである。

【0032】

利得媒質1として、

・ Tm添加フッ化物ファイバ（Tm添加濃度2000 wt. ppm、比屈折率差1.

6 %、ファイバ長11m)を用いることにより、2. 205 μ m信号光に対して信号利得8. 3 dB (1. 2 μ m帯励起光量が62mWの時)
 ・ Tm添加テルライトファイバ (Tm添加濃度2000 wt. ppm、比屈折率差2. 5 %、ファイバ長5m)を用いることにより、2. 205 μ m信号光に対して信号利得5. 8 dB (1. 2 μ m帯励起光量が52mWの時)
 ・ Tm添加カルコゲナイトガラスファイバ (Tm添加濃度2000 wt. ppm、比屈折率差1. 0 %、ファイバ長5m)を用いることにより、2. 205 μ m信号光に対して信号利得3. 8 dB (1. 2 μ m帯励起光量が75mWの時)
 ・ Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバ (Tm添加濃度1500 wt. ppm、比屈折率差1. 1 %、ファイバ長6m)を用いることにより、2. 205 μ m信号光に対して信号利得2. 7 dB (1. 2 μ m帯励起光量が73mWの時)
 ・ Tm添加ビスマス系ガラスファイバ (Tm添加濃度1000 wt. ppm、比屈折率差2. 5 %、ファイバ長5. 5m)を用いることにより、2. 205 μ m信号光に対して信号利得4. 7 dB (1. 2 μ m帯励起光量が55mWの時)
 ・ Tm添加フツリン酸ガラスファイバ (Tm添加濃度2500 wt. ppm、比屈折率差1. 1 %、ファイバ長4. 3m)を用いることにより、2. 205 μ m信号光に対して信号利得2. 2 dB (1. 2 μ m帯励起光量が86mWの時)
 がそれぞれ実現できた。

【0033】

また、上記各種Tm添加ファイバを用いた場合において、上記励起条件で1. 8 μ m帯でも信号利得を同時に実現し、Tm添加フッ化物ファイバを用いた場合は、6. 2 dB (波長1. 805 μ m)、Tm添加テルライトファイバを用いた場合は、5. 1 dB (波長1. 805 μ m)、Tm添加カルコゲナイトガラスファイバを用いた場合は、3. 2 dB (波長1. 805 μ m)、Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバを用いた場合は、3. 2 dB (波長1. 805 μ m)、Tm添加ビスマス系ガラスファイバを用いた場合は、7. 5 dB (波長1. 805 μ m)、Tm添加フツリン酸ガラスファイバを用いた場合は、2. 8 dB (波長1. 805 μ m)のレーザ発振がそれぞれ実現した。

【0034】

(第3の実施例)

本発明の第3の実施例では、2. 3 μ m帯の自然放出光源への本発明の応用を説明する。図14に、本発明の第3の実施例の構成を示す。ここで、1は利得媒質であるTm³⁺添加ファイバ、2は1. 2 μ m帯励起光源 (半導体レーザ、発振は長1. 21 μ m、最大出力200mW)、3はダイクロイックミラー (1. 2 μ m帯の光を反射、2. 2 μ m帯光を透過)、6は集光レンズである。

【0035】

前述の図7、図8に示したように、Tm³⁺添加フッ化物ファイバ、Tm³⁺添加テルライトファイバ、Tm³⁺添加ゲルマン酸塩ガラスファイバ、Tm³⁺添加カルコゲナイトガラスファイバ、Tm³⁺添加ビスマス系ガラスファイバ及びTm³⁺添加フツリン酸ガラスファイバの自然放出光特性が得られる。本特性により2. 3 μ m帯で動作する自然放出光源が実現できた。また、図7、図8から、2. 3 μ m帯と共に1. 8 μ m帯における自然放出光を利用できることが分かる。

【0036】

以上の第1～第3の実施例では、励起光源として、半導体レーザを用いたが、1. 2 μ m帯ファイバランレーザ等、他の光源を用いても良い。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】ツリウムイオンのエネルギー準位図である。

【図2】Tm添加フッ化物ファイバのフォトダークニングを説明するグラフ図である

。

【図3】各種ガラスの非発光緩和率の特性を示すグラフ図である。

【図4】本発明に係わる0. 67 μ m帯励起の2. 3 μ m帯自然放出光スペクトルを示すグラフ図である。

【図5】本発明に係わる0. 8 μ m帯励起の2. 3 μ m帯自然放出光スペクトルを示すグラフ図である。

【図6】本発明に係わる0. 67 μ m帯励起の0. 8 μ m帯励起の2. 3 μ m帯自然放出光スペクトルを示すグラフ図である。

【図7】本発明に係わる1. 2 μ m帯励起Tm³⁺添加フッ化物ファイバ及びTm³⁺添加テルライトファイバの自然放出光スペクトルの図である。

【図8】本発明に係わる1. 2 μ m帯励起Tm³⁺添加ゲルマン酸塩ガラスファイバ、Tm³⁺添加カルコゲナイトガラスファイバ、Tm³⁺添加ビスマス系ガラスファイバ及びTm³⁺添加フッリン酸ガラスファイバの自然放出光スペクトルを示すグラフ図である。

【図9】本発明の1. 2 μ m帯励起の有効性を説明するグラフ図である。

【図10】本発明の第1の実施例のファイバレーザの構成を示す模式図である。

【図11】本発明の第1の実施例における2. 3 μ m帯及び1. 8 μ m帯バンドパスフィルタの特性を示すグラフ図である。

【図12】本発明の第1の実施例における2. 3 μ m帯ファイバレーザの出力特性を示すグラフ図である。

【図13】本発明の第2の実施例の光ファイバ増幅器の構成を示す模式図である。

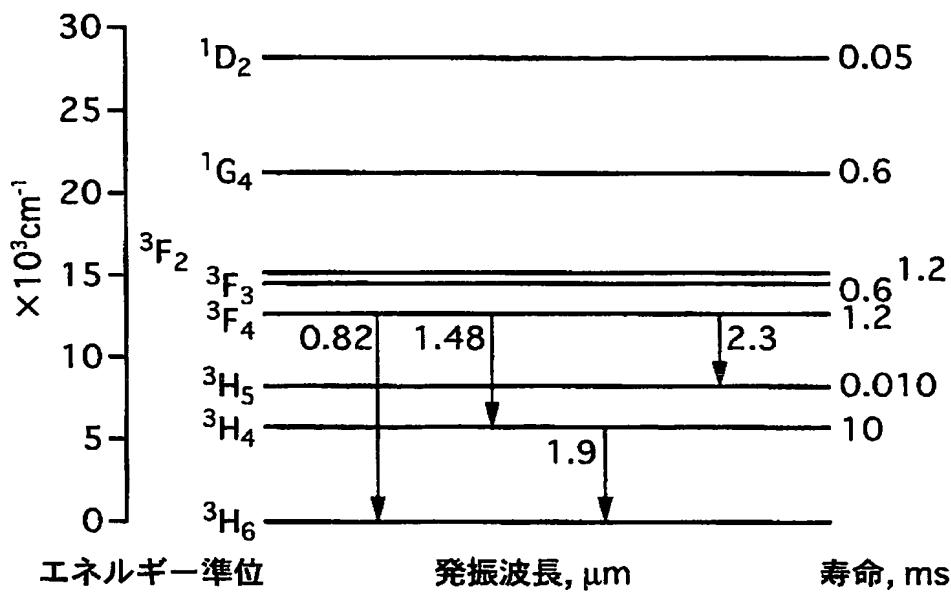
【図14】本発明の第3の実施例の自然放出光源の構成を示す模式図である。

【符号の説明】

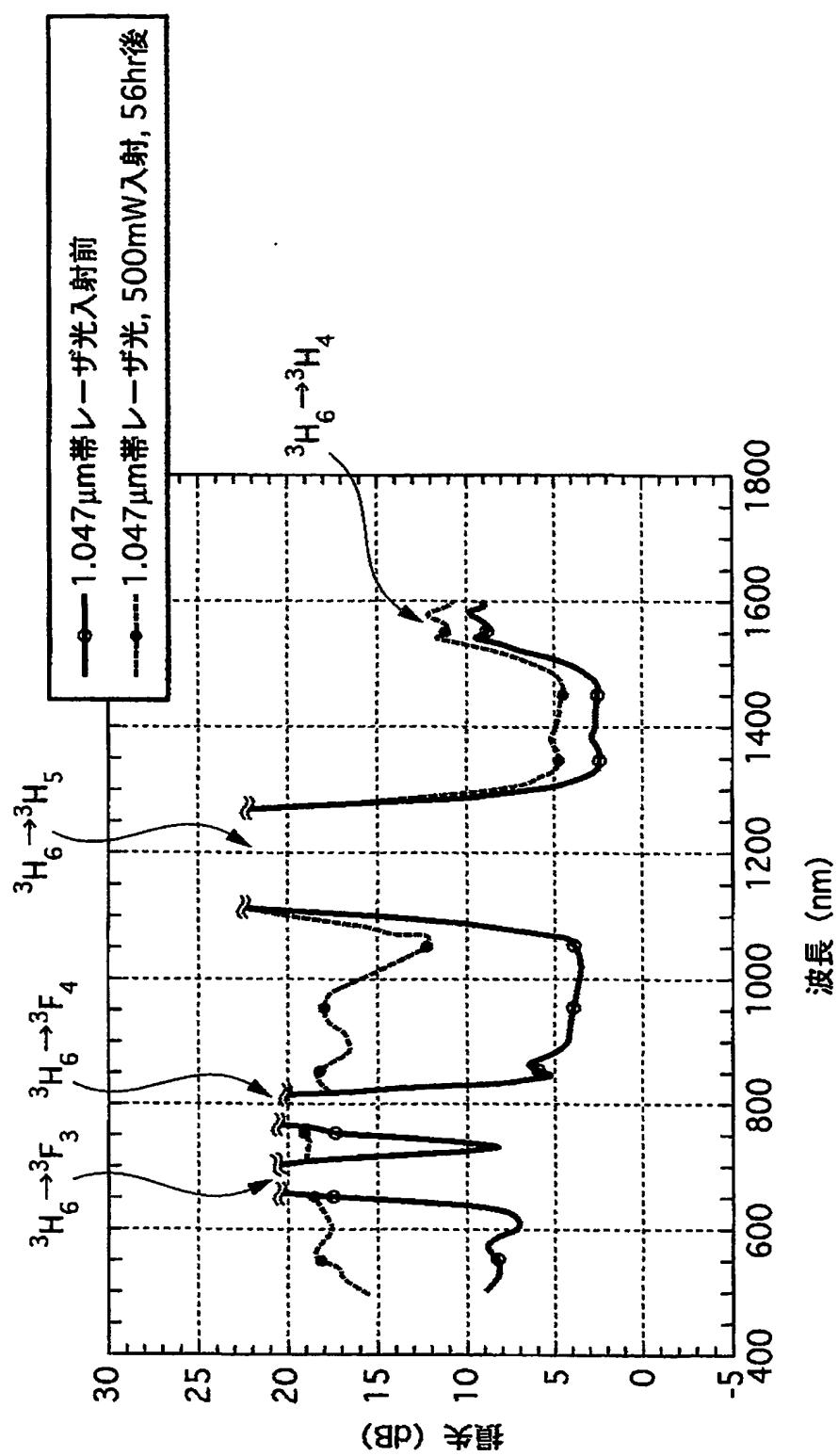
【0038】

- 1 利得媒質であるTm³⁺添加ファイバ
- 2 1. 2 μ m帯励起光源
- 3 ダイクロイックミラー
- 4 反射ミラー
- 5 2. 3 μ m帯及び1. 8 μ m帯バンドパスフィルタ
- 6 集光レンズ
- 7 全反射ミラー

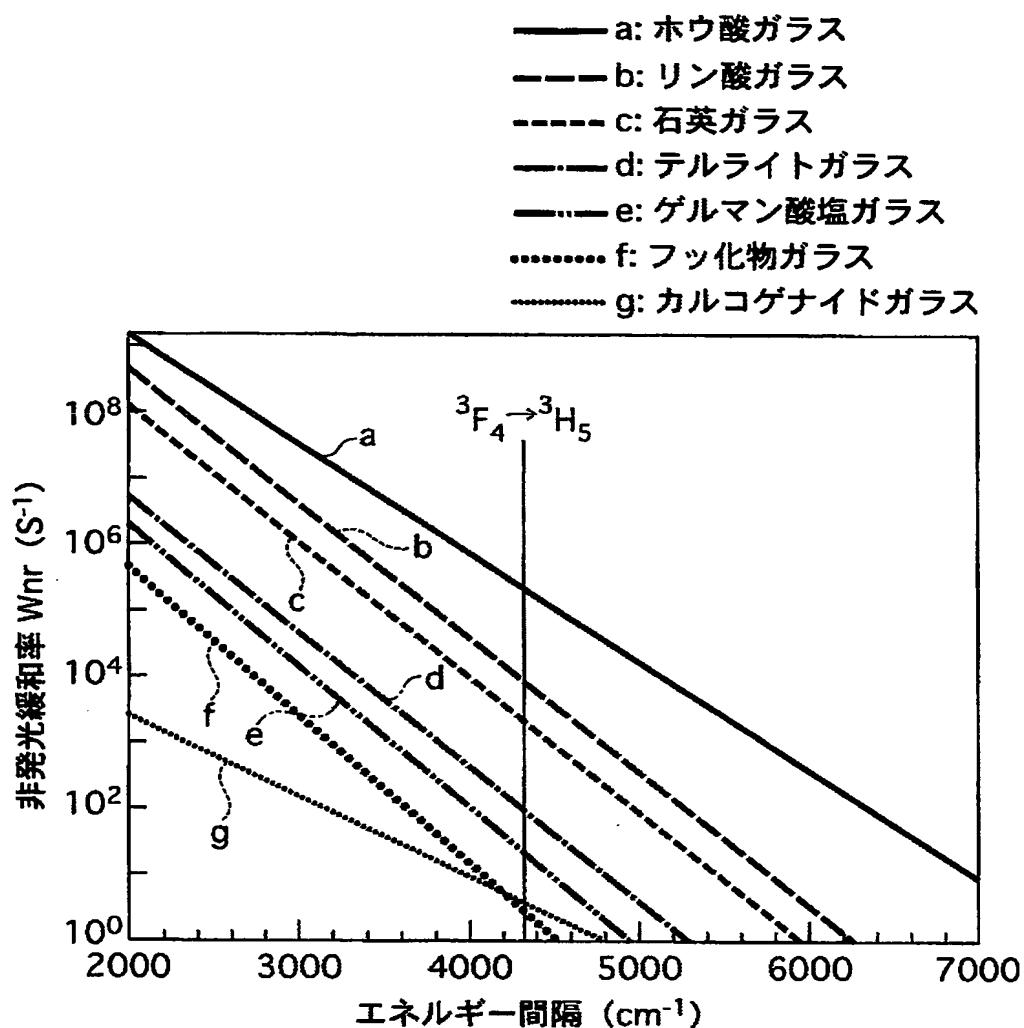
【書類名】図面
【図1】



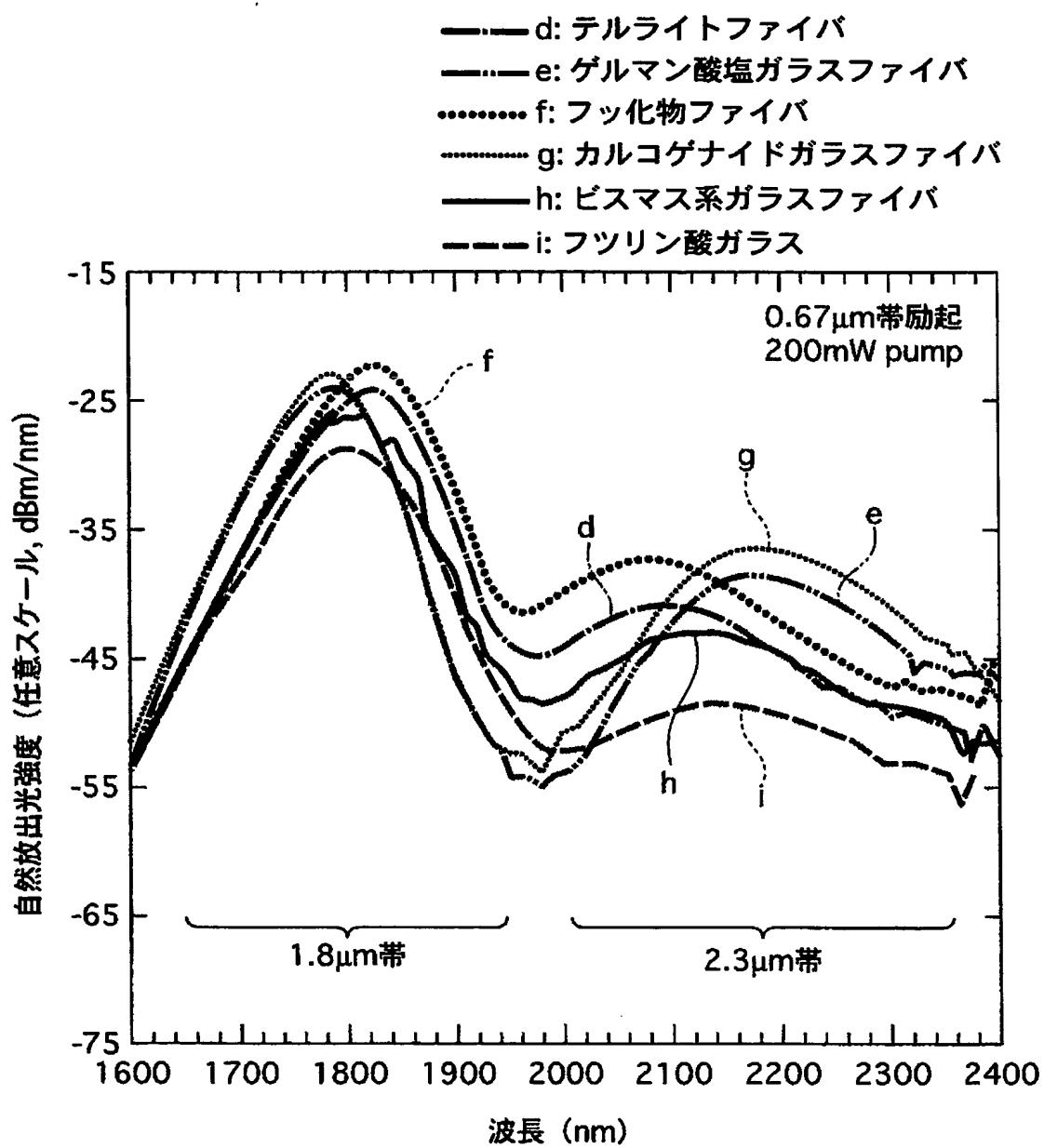
【図2】



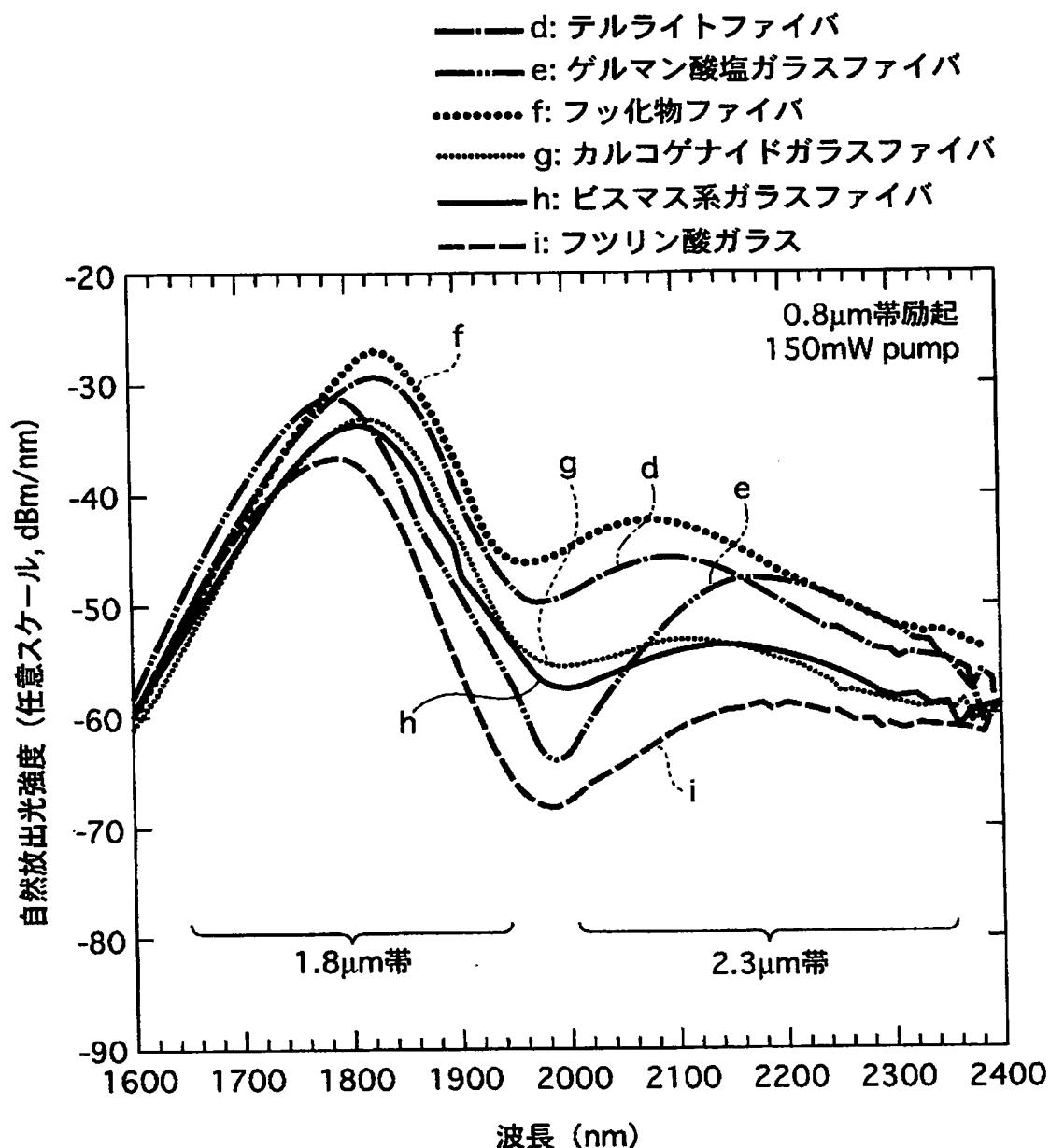
【図3】



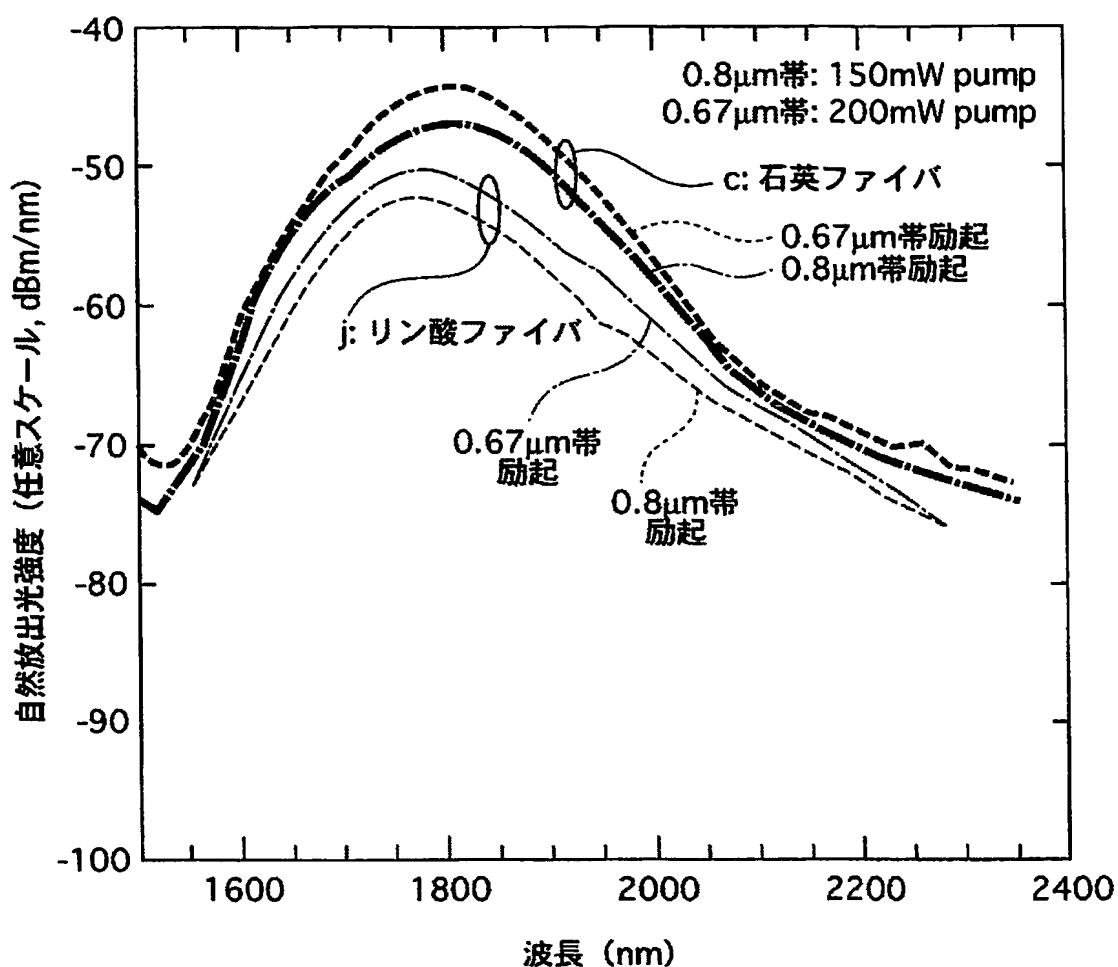
【図4】



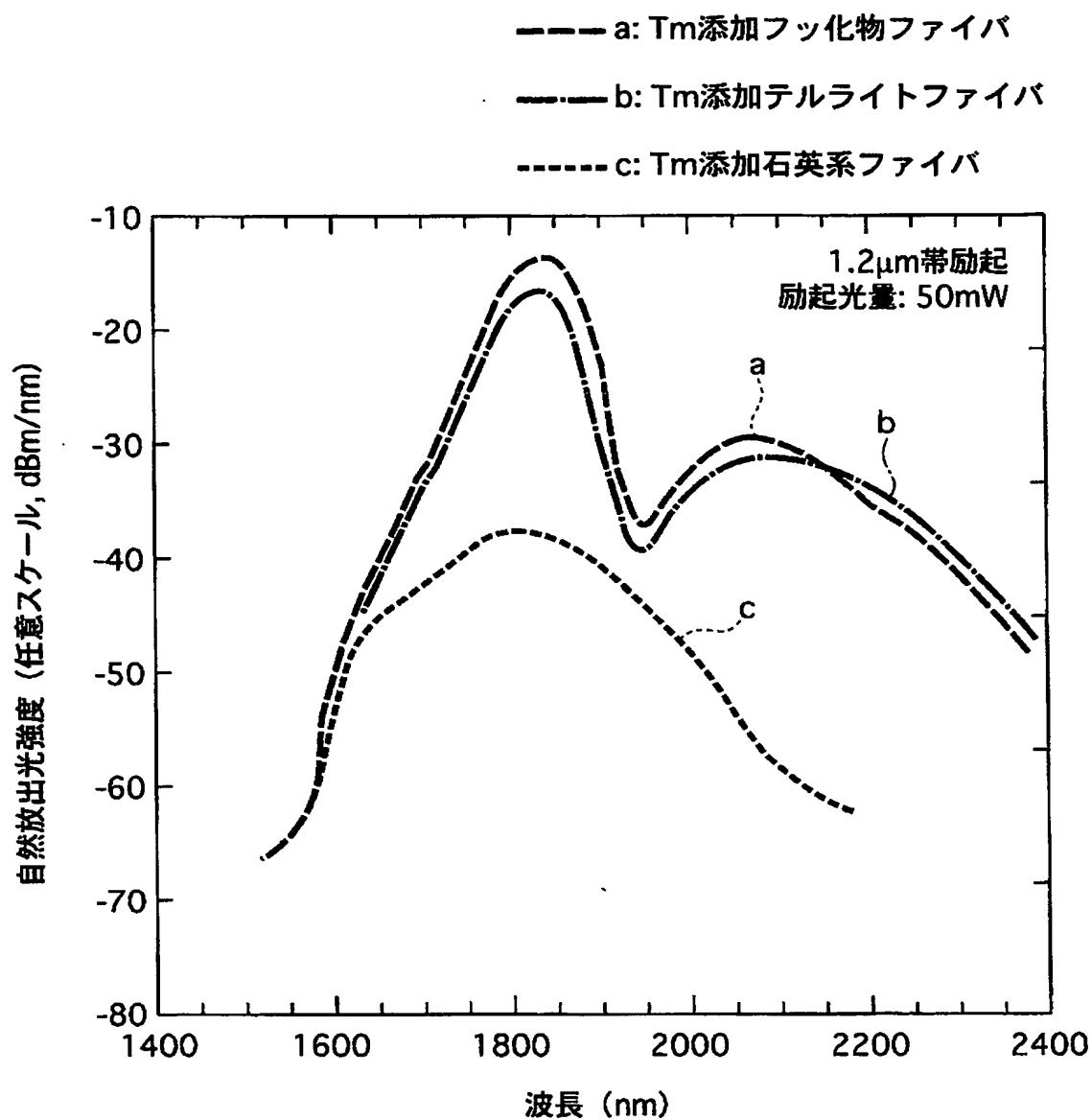
【図5】



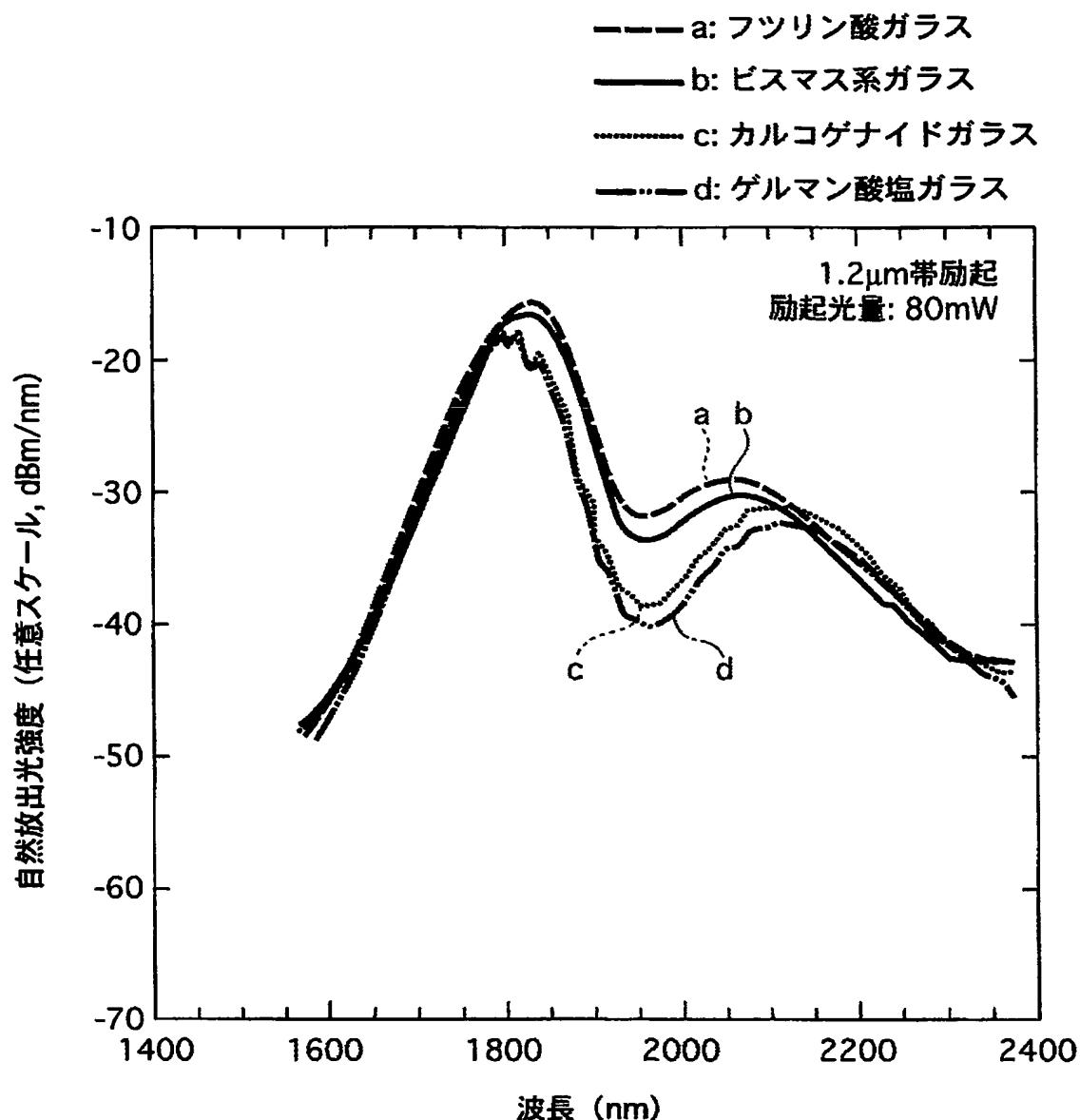
【図6】



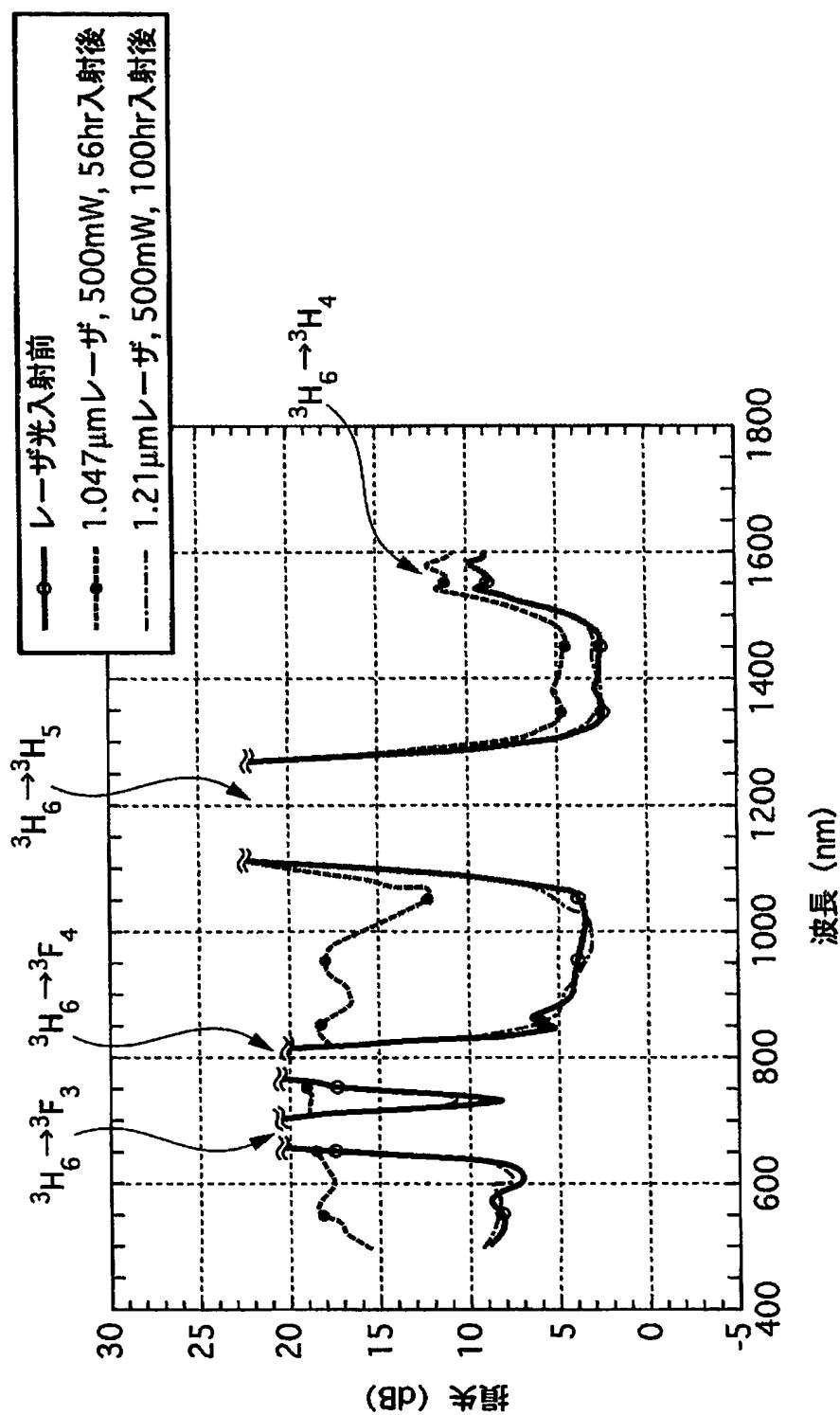
【図7】



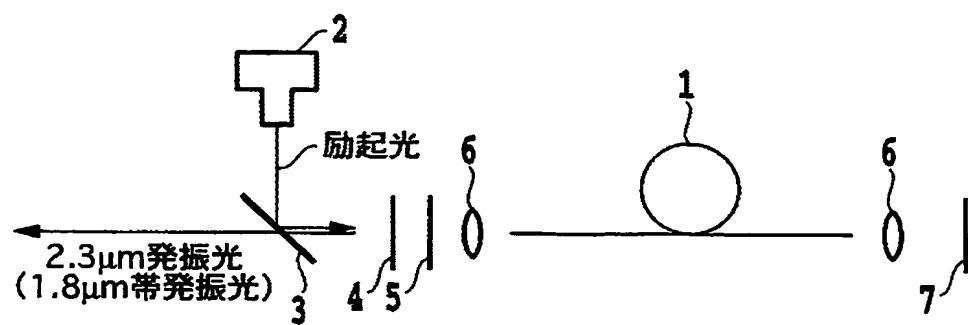
【図8】



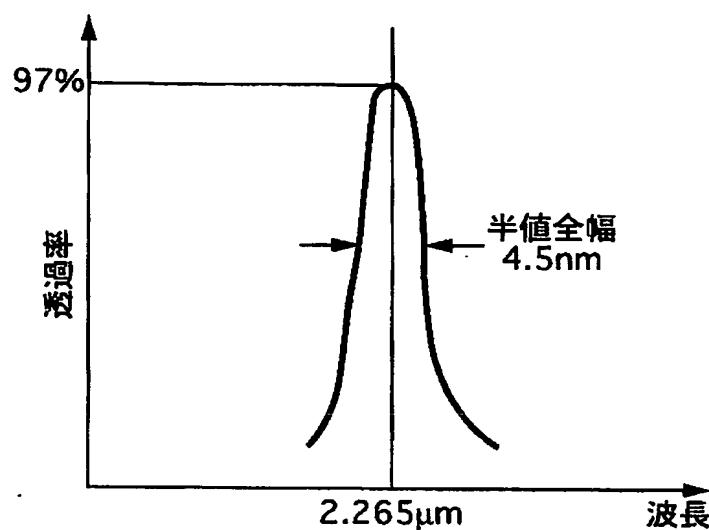
【図9】



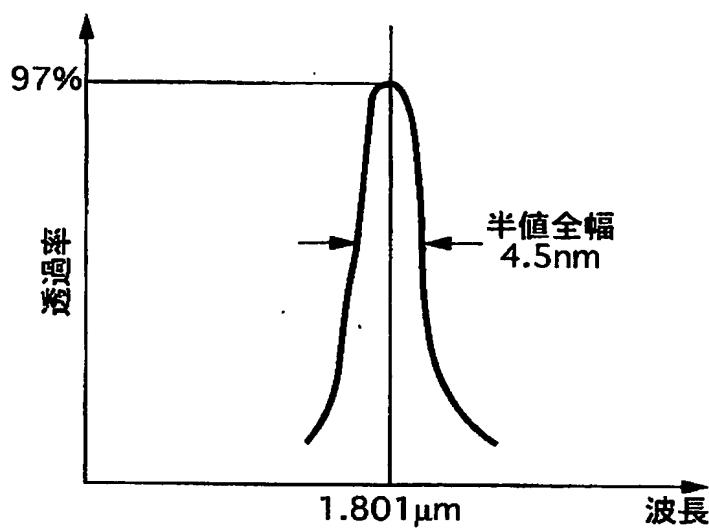
【図10】



【図11】

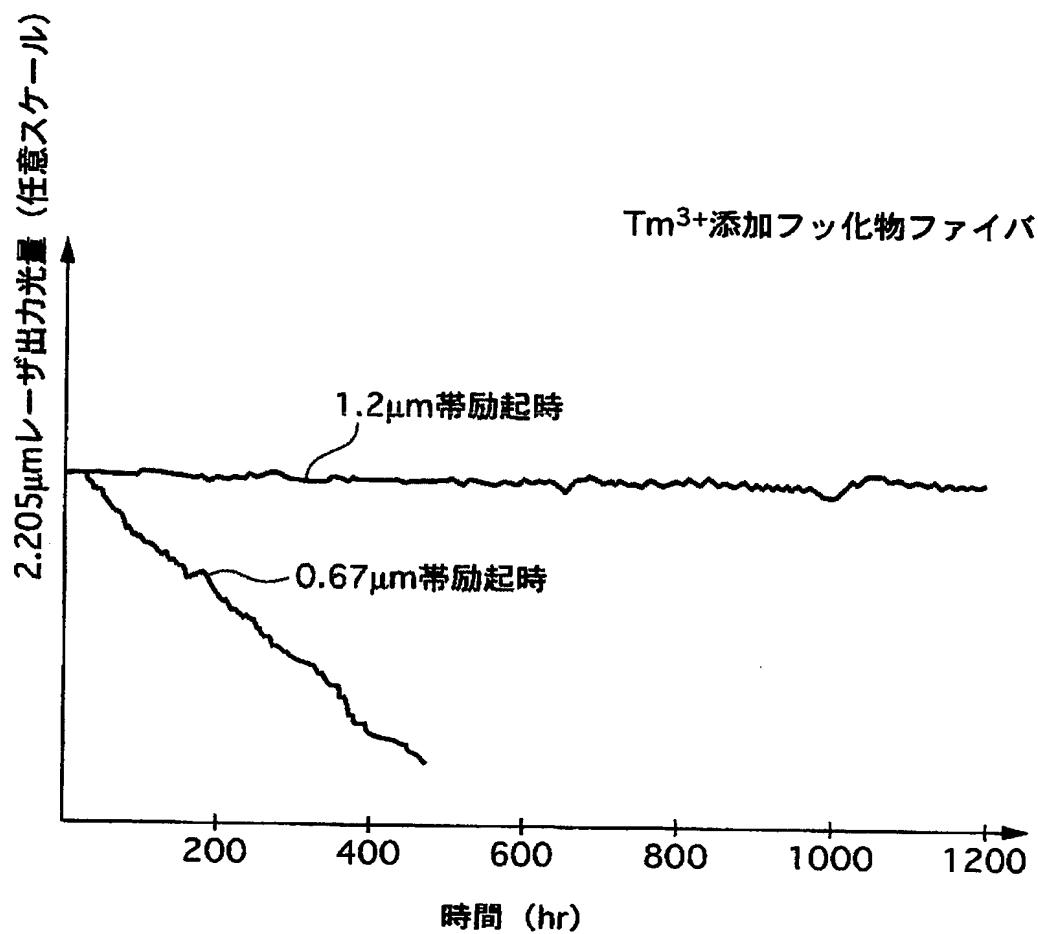


(A)

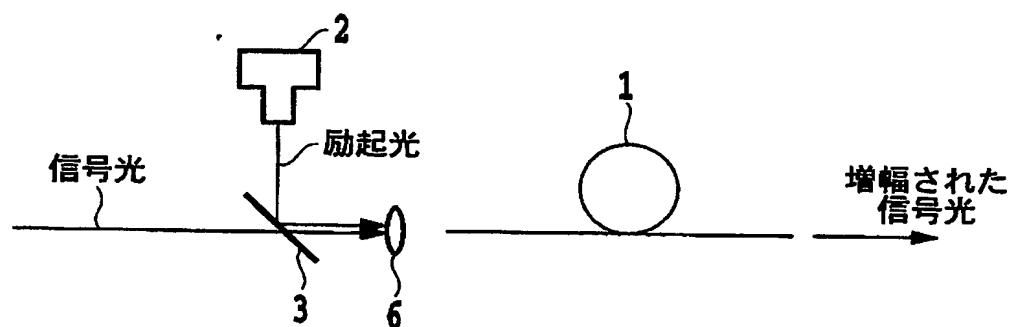


(B)

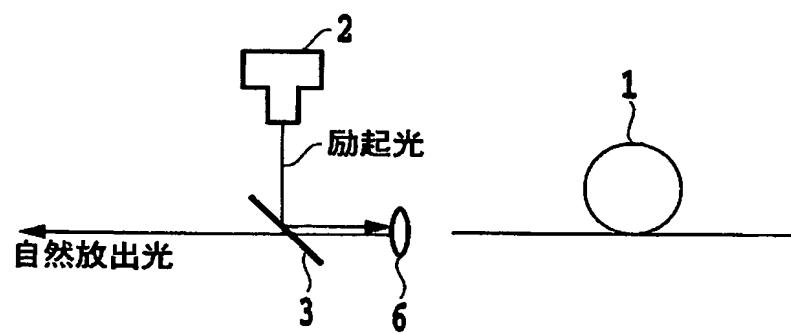
【図12】



【図13】



【図14】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 ファイバレーザ、自然放出光源、及び光ファイバ増幅器において、従来では、ツリウム (Tm) イオンを添加したファイバを、 $0.67 \mu\text{m}$ あるいは $0.8 \mu\text{m}$ の励起光で励起していたが、時間の経過とともに特性が劣化するという課題がある。

【解決手段】 励起光として $1.2 \mu\text{m}$ の光を用いる。更に好ましい構成として、Tmを添加するホストガラスを明確にして、 $2.3 \mu\text{m}$ 帯の発光効率を向上させた。

【選択図】 図12

特願 2003-281212

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
氏 名 日本電信電話株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.